

INDEKS GRADASI SEBAGAI PARAMETER UNTUK MENENTUKAN GRADASI AGREGAT BETON ASPAL

Arief Setiawan
Departemen Teknik Sipil
dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Yogyakarta, 55281
Tlp. (0274) 545675
arief.setiawan@mail.ugm.ac.id

Latif Budi Suparma
Departemen Teknik Sipil
dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Yogyakarta, 55281
Tlp. (0274) 545675
lbsuparman@mstt.ugm.ac.id

Agus Taufik Mulyono
Departemen Teknik Sipil
dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Yogyakarta, 55281
Tlp. (0274) 545675
agus@tsipil.ugm.ac.id

Abstract

Usually selected aggregate gradation is the mid range of specification. Gradation Index is a new parameter to predict aggregate gradation based on performance of asphalt concrete. The purpose of this study is to formulate the relationship between gradation index and aggregate gradation. The aggregate gradation of asphalt concrete was determined according to Indonesian Highway Specification (2010). Five gradations were selected and made the relationship between sieve size and percent passing cumulatif to get five equations. The result showed that the models of five aggregate gradation are power function with coefficient of determination greater than 0.9 and the two constants (a and b) can be used to obtain aggregate gradation.

Keywords: gradation index, asphalt concrete, aggregate gradation, sieve size

Abstrak

Gradasi agregat pada campuran beraspal umumnya dipilih berada di tengah rentang spesifikasi. Indeks Gradasi merupakan parameter yang diusulkan untuk digunakan dalam memprediksi gradasi agregat berdasarkan kinerja campuran beton aspal. Tujuan penelitian ini adalah merumuskan hubungan antara Indeks Gradasi dan gradasi agregat. Spesifikasi gradasi ditentukan berdasarkan persyaratan yang terdapat pada Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (2010). Lima jenis gradasi dipilih dan dibuat hubungan antara ukuran saringan serta persen lolos kumulatif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model untuk lima gradasi agregat memberikan koefisien determinasi lebih besar daripada 0,9 serta konstanta a dan b yang dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat.

Kata-kata kunci: indeks gradasi, beton aspal, gradasi agregat, ukuran saringan

PENDAHULUAN

Gradasi agregat adalah salah satu bagian penting dalam campuran beraspal. Sifat-sifat campuran seperti stabilitas, kekakuan, kemudahan kerja, permeabilitas, keawetan, ketahanan terhadap kelelahan, tahanan gelincir, dan ketahanan terhadap air sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat (Roberts et al., 1991). Pada umumnya target gradasi ditetapkan berdasarkan nilai tengah spesifikasi atau biasa disebut dengan gradasi ideal. Namun demikian, gradasi tengah belum tentu memberikan kinerja terbaik dari suatu campuran beraspal.

Sanchez-leal (2007) menyatakan dalam salah satu dalilnya bahwa untuk menafsirkan perilaku, mengumpulkan data dan perancangan, suatu sistem klasifikasi tidak hanya bersifat kualitatif, namun juga bersifat kuantitatif. Hasil keluaran (*output*) berupa angka dalam skala menerus untuk membuat hubungan respon parameter terhadap klasifikasi. Sangsefidi et al. (2016) dan Sanchez-leal (2007) mengkuantifikasi sifat gradasi agregat dengan mengukur koefisien keseragaman (C_u), koefisien lengkungan (C_c), faktor bentuk (n) dan rasio kerikil terhadap pasir (G/S). Wahyudi (2000) menggunakan C_u untuk membedakan jenis gradasi agregat dalam merancang gradasi agregat berbatuan besar (maksimum ukuran agregat lebih dari 37,5 mm). Namun nilai terukur tersebut tidak mewakili setiap ukuran saringan sehingga tidak dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat.

Khodaii et al. (2012) membuat kode +1 untuk gradasi batas atas spesifikasi atau gradasi yang relatif lebih halus, kode -1 untuk gradasi batas bawah spesifikasi atau gradasi yang lebih kasar, dan gradasi nilai tengah spesifikasi antara 0 dan +1 dan antara 0 dan -1. Pengkodean ini tidak menunjukkan posisi gradasi yang sebenarnya sehingga tidak dapat dilakukan perhitungan balik untuk mendapatkan gradasi agregat.

Habeeb et al. (2014) merumuskan rasio gradasi dan membuat model hubungan antara rasio gradasi dengan kerusakan campuran beraspal akibat air dan kerusakan alur (*rutting*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio gradasi mampu memprediksi kerusakan baik *rutting* maupun kerusakan campuran beraspal akibat air. Rasio gradasi hanya berdasarkan pada nomor saringan tertentu, yaitu diameter yang meloloskan agregat sebesar 15%, 50%, dan 85% sehingga belum mewakili seluruh ukuran saringan yang digunakan.

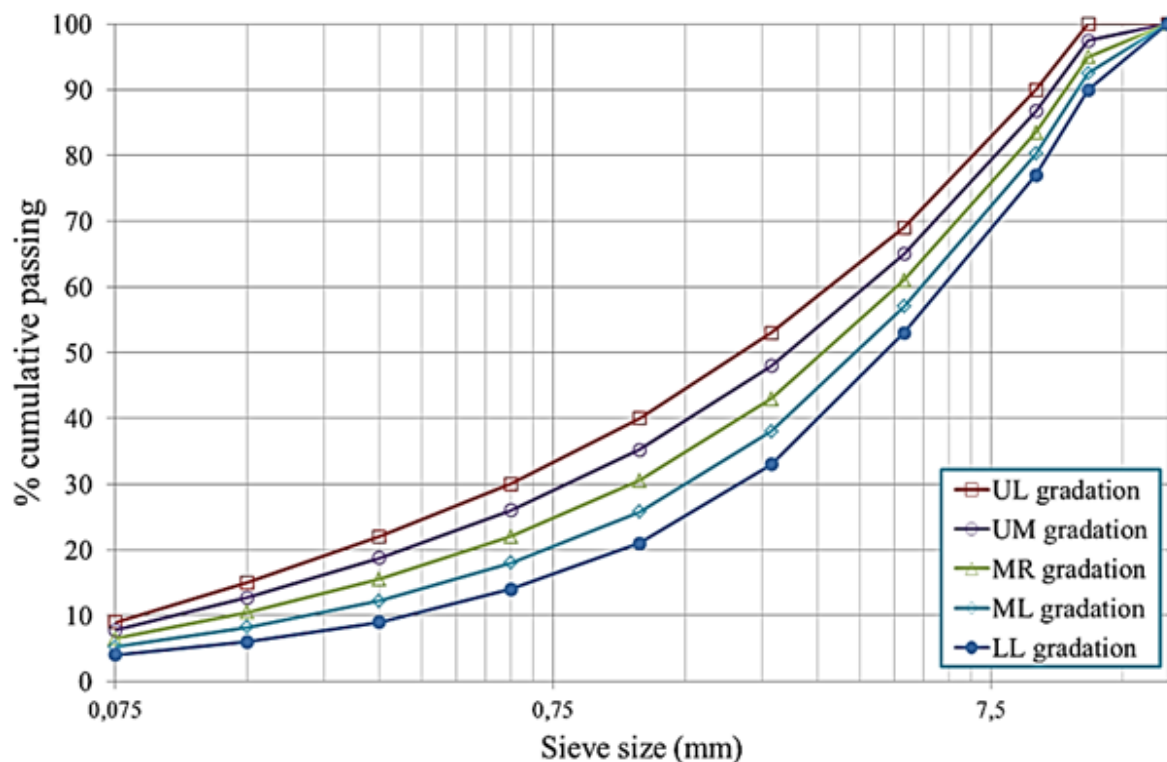
Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan hubungan antara indeks gradasi dan gradasi agregat sehingga dapat dilakukan perhitungan balik. Perhitungan balik bermanfaat untuk menentukan gradasi agregat dengan sifat campuran beraspal sesuai dengan yang dikehendaki.

RANCANGAN EKSPERIMENTAL

Pemilihan Material

Sumber agregat berasal dari Sungai Tinalah, Kulon Progo, Yogyakarta, merupakan salah satu sumber material untuk konstruksi jalan dan bangunan di Yogyakarta dan sekitarnya. Hasil pengujian sifat fisik agregat menunjukkan bahwa agregat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Ditjen Bina Marga (2014). Lima gradasi yang dipilih adalah: (1) gradasi batas atas atau UL; (2) gradasi antara batas atas dan batas tengah atau UM; (3) gradasi batas tengah atau MR; (4) gradasi antara batas tengah dan batas bawah atau ML; dan (5) gradasi batas bawah atau LL. Lima jenis gradasi yang dipilih dapat dilihat pada Gambar 1.

Aspal keras AC 60/70 produksi Pertamina digunakan sebagai bahan pengikat sesuai dengan rekomendasi Ditjen Bina Marga (2014). Hasil pemeriksaan sifat fisik aspal menunjukkan bahwa aspal produksi Pertamina memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan pengikat.



Gambar 1 Jenis Gradasi Agregat

Rancangan Campuran

Kadar aspal optimum ditentukan dengan Metode Marshall pada setiap gradasi agregat berdasarkan nilai stabilitas, pelelehan, rongga dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFA), dan rongga dalam agregat (VMA) berdasarkan Spesifikasi Umum Edisi 2010 Revisi 3 (Ditjen Bina Marga, 2014).

Pengujian perendaman Marshall (*Marshall immersion*) dan pengujian tarik tak langsung untuk mengukur ketahanan campuran terhadap pengaruh air dan kekuatan tarik campuran beraspal. Pengujian dilakukan pada kadar aspal optimum pada setiap jenis gradasi agregat. Pengujian perendaman Marshall dan kuat tarik akan digunakan untuk menentukan gradasi agregat yang memberikan nilai terbaik untuk kedua nilai tersebut.

Indeks Gradasi

Indeks gradasi (GI) diusulkan agar dapat menafsirkan perilaku campuran beraspal dengan skala menerus sehingga diperoleh hubungan antara perubahan gradasi dengan sifat tertentu dari campuran beraspal. Indeks gradasi didefinisikan sebagai rasio luasan kurva tertahan dengan kurva total. Perhitungan untuk menentukan indeks gradasi sangat mudah

dilakukan dan memasukkan seluruh ukuran saringan yang ditetapkan dalam spesifikasi. Indeks gradasi dirumuskan dalam persamaan 1 dan persamaan 2 dengan ilustrasi pada Gambar 2.

$$GI = \frac{a}{A} 100 \quad (1)$$

$$a = \sum_{i=0}^n \left(\frac{Sr_i + Sr_{i+1}}{2} \right) (T_i - T_{i+1}) \quad (2)$$

dengan:

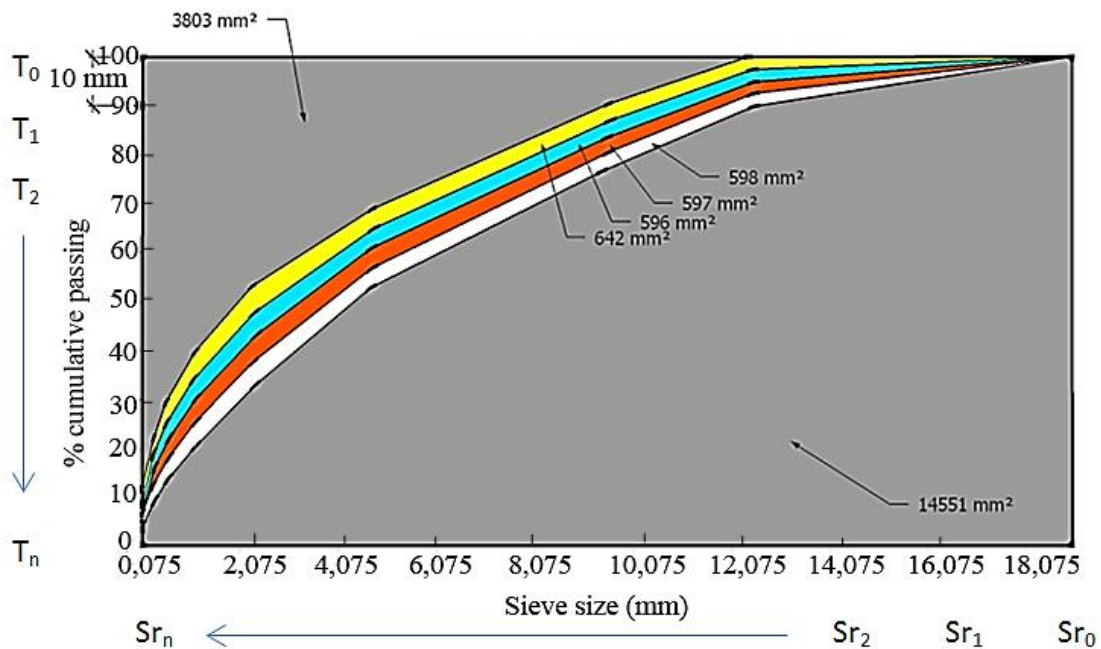
GI = indeks gradasi atau *gradation index* dalam persen;

a = luas kurva tertahan (mm^2);

A = luasan total (mm^2) = $T_0 \cdot Sr_0$;

Sr = ukuran saringan (mm); dan

T = agregat tertahan kumulatif (10% = 10 mm) (mm).



Gambar 2 Ilustrasi Perhitungan Indeks Gradasi

Pengujian Tarik Tak Langsung

Pengujian tarik tak langsung (*indirect tensile strength, ITS test*) merupakan pengujian yang mirip dengan perilaku lapis perkerasan di lapangan tepat di bawah beban kendaraan pada bagian lapisan yang mengalami gaya tarik atau titik kritis di mana awal terjadi retak (Roque dan Buttlar, 1993).

Lima jenis gradasi agregat pada kadar aspal optimum diuji kuat tarik pada suhu 25 °C dengan kecepatan pembebanan 50 mm/min sampai mencapai beban puncak. Termometer air raksa digunakan untuk memonitor suhu ruang dan termometer digital diletakkan tepat

di tengah benda uji contoh untuk memonitor suhu di inti benda uji. Alat Marshall modifikasi digunakan untuk pengujian tarik tak langsung dengan kepala penekan (*loading strip*) sesuai dengan ketentuan ASTM D 4123-1982 (Reapproved 1995) dalam American Society for Testing and Material, ASTM (2003).

Pengujian Perendaman Marshall

Pengujian perendaman dilakukan sesuai dengan kriteria yang diberikan oleh Ditjen Bina Marga (2014) dalam Spesifikasi Umum Edisi 2010 Revisi 3. Marshall sisa atau *retained Marshall stability* (RMS) dihitung berdasarkan persamaan 3. Pengujian Marshall sisa dilakukan untuk mengukur ketahanan campuran beraspal terhadap air.

$$RMS = (S_2/S_1) 100\% \quad (3)$$

dengan:

RMS = Marshall sisa atau *retained Marshall stability* (%);

S_1 = stabilitas rata-rata setelah direndam selama 0,5 jam, suhu 60°C (kg); dan

S_2 = stabilitas rata-rata setelah direndam selama 24 jam pada suhu 60°C (kg).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Gradasi Agregat

Pendekatan yang dilakukan untuk memodelkan kelima jenis gradasi agregat adalah dengan melakukan *curve fitting*. Hasil yang diperoleh adalah model *power function* dengan nilai R^2 lebih besar dari 0,9. *Power function* ini memiliki bentuk pada persamaan 4. Hasil pemodelan setiap jenis gradasi ditampilkan pada Tabel 1.

$$y = a x^b \quad (4)$$

dengan:

y = persen lolos pada ukuran saringan (mm);

x = ukuran saringan (mm); dan

a, b = konstanta.

Perhitungan balik dilakukan dengan memodelkan hubungan konstanta a dan konstanta b dengan indeks gradasi sehingga diperoleh persamaan 5 dan 6. Perhitungan balik untuk menentukan gradasi agregat dilakukan dengan memasukkan konstanta a dan b ke dalam persamaan 4 dengan kontrol luasan berdasarkan persamaan 1.

$$a = -0,0095 \text{ GI}^2 - 0,818 \text{ GI} + 52,459 \quad (5)$$

$$b = 0,0006 \text{ GI}^2 - 0,015 \text{ GI} + 0,4985 \quad (6)$$

Tabel 1 Konstanta untuk Setiap Jenis Gradasi

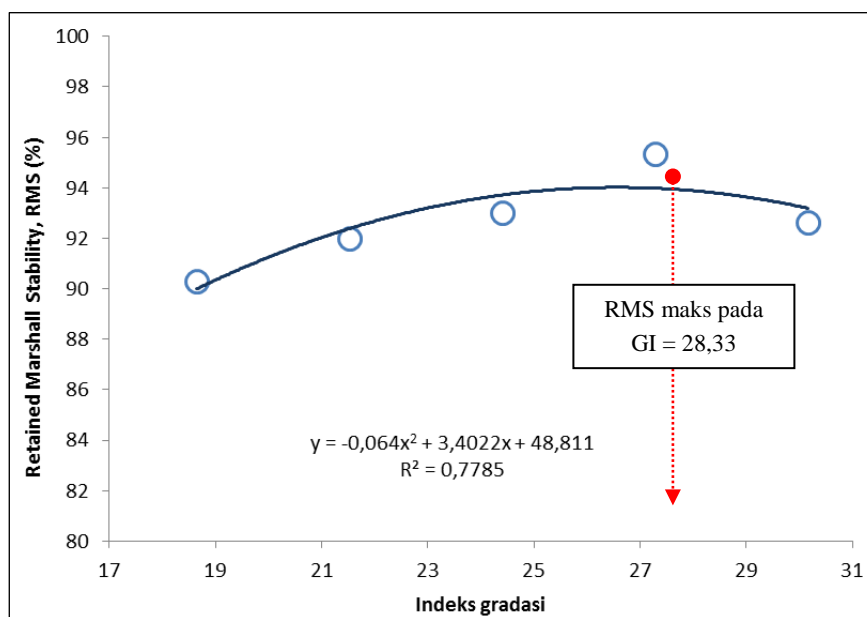
Jenis Gradasi	Indeks Gradasi	Konstanta		R ²
		a	b	
UL	18,65	33,908	0,4302	0,9822
UM	21,53	30,420	0,4602	0,9889
MR	24,41	26,821	0,4966	0,9939
ML	27,29	23,072	0,5424	0,9970
LL	30,17	19,106	0,6033	0,9980

Indeks Gradasi, Marshall Sisa dan Kuat Tarik Campuran Beraspal

Hasil pengujian Marshall sisa (RMS) dan pengujian kuat tarik (ITS) dipresentasikan pada Tabel 2. Penentuan nilai RMS tertinggi dan nilai ITS tertinggi ditentukan berdasarkan hubungan antara indeks gradasi dengan kedua parameter tersebut (lihat Gambar 3 dan Gambar 4).

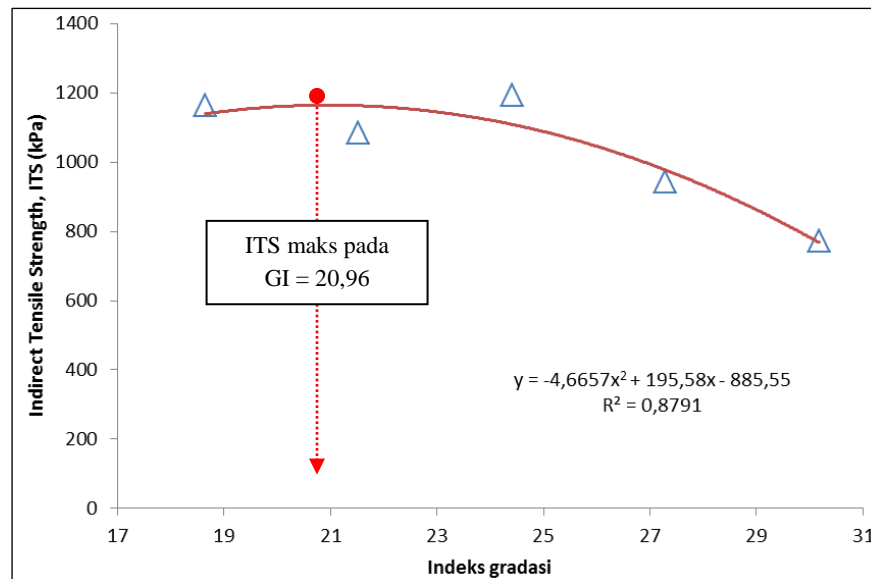
Tabel 2 Karakteristik Campuran Beton Aspal pada setiap Jenis Gradasi

Indeks Gradasi	KAO (% of mix)	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	VIM (%)	VFA (%)	VMA (%)	RMS (%)	ITS (kPa)
18,65	5,97	2043,81	3,20	3,64	77,03	15,82	90,31	1163,78
21,53	5,84	1703,21	3,40	4,12	73,54	15,57	91,98	1085,38
24,41	5,56	1909,58	3,47	3,51	76,69	15,03	93,00	1192,03
27,29	5,65	1489,32	3,97	4,17	70,67	16,13	95,34	943,12
30,17	7,09	1178,86	3,80	4,89	73,49	18,43	92,63	771,42



Gambar 3 Hubungan antara Indeks Gradasi dan RMS

Hubungan antara indeks gradasi dan RMS menunjukkan bahwa semakin kasar agregat (GI semakin besar) akan meningkatkan ketahanan campuran beraspal terhadap air karena kadar aspal optimum meningkat. Namun, RMS akan mencapai puncak dan kemudian menurun nilainya karena rongga di dalam campuran menjadi lebih besar sehingga campuran beraspal mudah dimasuki oleh air dan menjadi lemah.



Gambar 4 Hubungan antara Indeks Gradasi dan ITS

Hasil pengujian tarik campuran beraspal menunjukkan hubungan antara indeks gradasi dan kuat tarik (ITS) bahwa semakin kasar agregat (GI semakin besar) akan menaikkan kuat tarik sampai pada puncak kemudian mengalami penurunan kekuatan tarik campuran beraspal. Penyebab dari peningkatan nilai kuat tarik campuran adalah penurunan kadar aspal optimum sehingga aspal berfungsi sebagai perekat, sedangkan penyebab penurunan karena kadar aspal optimum meningkat untuk menutupi rongga campuran akan menjadi pelumas dalam campuran.

Aplikasi Pemodelan Gradasi Agregat

Indeks gradasi dengan kinerja tertentu yang diharapkan oleh perancang campuran dapat ditentukan gradasi agregatnya. Penelitian ini akan menentukan gradasi agregat pada nilai GI sebesar 28,33 yang menghasilkan nilai RMS tertinggi dan GI sebesar 20,96 yang menghasilkan nilai ITS tertinggi berdasarkan model. Urutan perhitungan balik untuk mendapatkan gradasi agregat adalah:

- (1) menentukan indeks gradasi (GI) dengan kinerja tertentu;
- (2) menghitung konstanta a dan b dengan persamaan 5 dan 6;
- (3) menghitung persen lolos kumulatif untuk setiap ukuran saringan dengan persamaan 4;

- (4) mengontrol perhitungan rasio luasan tertahan dengan persamaan 1 dan 2;
- (5) mengontrol GI target sama atau mendekati dengan GI perhitungan;
- (6) mengontrol gradasi agregat dengan spesifikasi; dan
- (7) memperoleh gradasi agregat sesuai GI yang diinginkan.

Hasil perhitungan untuk mendapatkan gradasi agregat pada GI sebesar 28,33 dan GI sebesar 20,96 disajikan pada Tabel 3. Hasil perhitungan balik dengan menggunakan indeks gradasi dapat dilakukan sehingga gradasi sesuai dengan kinerja yang diinginkan dapat dicapai. Perbedaan antara indeks gradasi (GI) target dan GI hasil perhitungan balik tidak berbeda secara signifikan. Perbedaan antara perhitungan GI dan GI target dapat diminimalkan dengan melakukan *trial* terhadap persen lolos kumulatif.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Balik untuk
Menentukan Gradasi Agregat Berdasarkan GI

Ukuran Saringan (mm)	Persen Lolos Kumulatif	
	GI = 28,32	GI = 20,98
19,000	100,00	100,00
12,500	91,50	98,00
9,500	78,50	86,00
4,750	57,00	67,50
2,360	35,00	50,00
1,180	24,00	34,00
0,600	16,00	25,00
0,300	11,00	18,00
0,150	8,00	13,00
0,075	5,00	8,00

Gradasi agregat di lapangan berdasarkan nilai GI dapat dicapai dengan melakukan penggabungan beberapa fraksi agregat dengan beberapa metode, yaitu: (1) analitis, (2) grafis, dan (3) gabungan analitis dan *trial* atau gabungan grafis dan *trial* (Asphalt Institute, 1993). Hasil dari metode penggabungan agregat tersebut adalah proporsi masing-masing fraksi agregat agar dapat memenuhi GI target.

KESIMPULAN

Penelitian ini memperlihatkan bahwa indeks gradasi mampu menunjukkan perilaku dari perubahan gradasi agregat terhadap sifat kuat tarik campuran dan ketahanan terhadap air (*moisture damage*). Perubahan perilaku dengan perubahan indeks gradasi memberikan informasi posisi gradasi yang akan memberikan kinerja tertentu sehingga perancang dapat mendesain suatu campuran berdasarkan kinerja tersebut.

Rumusan hubungan antara indeks gradasi dan gradasi agregat diperoleh *power function* untuk model gradasi agregat dan *polynomial regression* untuk menentukan konstanta *power function*. Perhitungan balik yang dilakukan menunjukkan bahwa indeks gradasi mampu menentukan gradasi agregat sesuai dengan kinerja yang diinginkan. Penelitian ini memberikan nilai GI sebesar 28,33 untuk mencapai RMS maksimum dan GI sebesar 20,96 untuk mencapai kuat tarik maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*. Asphalt Institute Manual Series No. 2 (MS-2), Sixth Edition, Lexington, KY.
- American Society for Testing and Material International. 2003. *Annual Book of ASTM Standards. Section 4: Construction. Volume 04.03: Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems*. West Conshohocken, PA.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2014. *Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3: Divisi 6: Perkerasan Beraspal*. Jakarta.
- Habeeb, H., Chandra, S., dan Nashaat, Y. 2014. *Estimation of Moisture Damage and Permanent Deformation in Asphalt Mixture from Aggregate Gradation*. KSCE Journal of Civil Engineering 18 (6): 1655-63. (Online), (<http://link.springer.com/10.1007/s12205-014-1356-7>, diakses 2 Oktober 2014).
- Khodaii, A., Haghshenas, H.F., dan Tehrani, H.K. 2012. *Effect of Grading and Lime Content on HMA Stripping Using Statistical Methodology*. Construction and Building Materials 34: 131-35. (Online), (<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006181200102X>, diakses 21 Agustus 2014).
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., dan Kennedy, T.W. 1991. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*. First Edition. Lanham, MD: NAPA Education Foundation.
- Roque, R. dan Buttlar, W.G. 1993. *The Development of Measurement and Analysis System to Accurately Determine Asphalt Concrete Properties Using the Indirect Tensile Strength*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologist, 61: 304-332.
- Sánchez-leal, F.J. 2007. *Gradation Chart for Asphalt Mixes: Development*. Journal of Materials in Civil Engineering, 19 (2): 185-197.
- Sangsefidi, E., Ziari, H., dan Sangsefidi, M. 2016. *The Effect of Aggregate Gradation Limits Consideration on Performance Properties and Mixture Design Parameters of Hot Mix Asphalt*. KSCE Journal of Civil Engineering, 20 (1): 385-392. (Online), (<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2012.752824>).

Wahyudi, M. 2000. *Evaluasi Teknik Pemadatan dan Faktor-Faktor yang Berpengaruh terhadap Karakteristik Campuran Aspal Berbatuan Besar*. Prosiding Simposium III Forum Studi Transportasi Antar-Perguruan Tinggi. Yogyakarta.